Université de Ouagadougou
(U.O) BURKINA

Master Matériaux - Energie / option Semi-conducteur et Système Photovoltaïque

MASTER I
MATERIAUX – ENERGIE / RECHERCHE

Code :
Titre : Equations de bilan.
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h

Objectifs :
Donner les outils nécessaires à la modélisation des échanges de masse, de quantité de mouvement et d'énergie entre différents milieux. Appréhender les écoulements turbulents.
Prérequis : Cours de mathématiques sur les équations aux dérivées partielles et les intégrales
Contenu : Le cours donne le formalisme d'une équation de bilan d'une grandeur extensive dans un système donné. Cette équation est appliquée à la masse, à la quantité de mouvement et à l'énergie.
Différentes manières de résoudre le modèle obtenu sont abordées.

TP :
Support de cours :
Evaluation : Examen
Bibliographie :
Padet, " Fluides en écoulement ", Masson
Chassaing, " Mécanique des fluides ", Cépadues Editions, 1997
Lesieur, " Turbulence in Fluids ", Kluwer Academic Publisher, 1997.

Code :
Titre : Physique du solide.
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8 h
Enseignant(s) :

Objectifs : Introduction à la physique de l'état solide, présentation de l'origine des principales propriétés des matériaux solides : thermiques, électriques, optiques, magnétiques, …
Prérequis :
Contenu : Partant de l'atome jusqu'à l'état solide, ce cours donne les bases de la physique de l'état solide permettant de comprendre les propriétés de réseau et les structures électroniques des solides et leurs conséquences sur les propriétés des grandes classes de matériaux.

Plan : Présentation générale des matériaux solides ; Notions sur le caractère quantique de la matière ; Structure du cristal parfait ; Eléments de cristallographie ; Espace et réseau réciproques ; Liaisons cristallines ; Vibration du réseau cristallin ; Propriétés électroniques ;

Propriétés de transport et magnétisme ; Matériaux semi-conducteurs

Support de cours :
Evaluation : Examen
Bibliographie :
C.KITTEL, Introduction à la physique du solide, Ed. Dunod.
H. MATHIEU, Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques, Ed. Dunod.

Code :
Titre : Interaction rayonnement matière
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8 h
Enseignant(s) :
Objectifs : Comprendre les lois régissant les interactions d'un rayonnement électronique ou photonique avec la matière.
Pré-requis : Cours de niveau 3ème année
Contenu : Le cours porte sur l'interaction d'un faisceau d'électrons ou d'un rayonnement photonique avec la matière. Cette interaction se traduit par une excitation des atomes de la matière suivie de leur relaxation énergétique.

Plan :
I - Représentation énergétique de l'atome dans le solide soumis à une interaction électronique ou photonique
II - Interaction des photons avec la matière
II - 1 Processus d'excitation (en particulier l'effet photo-électrique)
II - 2 Processus de désexcitation
II - 3 Spectre des énergies cinétiques
III - Interaction des électrons avec la matière
III - 1 Le spectre de l'énergie cinétique
III - 2 Processus d'excitation et de désexcitation
IV - Rayonnement électromagnétique de freinage et rayonnements caractéristiques
V - Profondeurs de pénétration, d'échappement et d'émergence.
VI - Absorption des photons X

TP : Une application de la théorie de l'interaction électrons matière : le microscope électronique à balayage.

Support de cours :
Evaluation : examen (3/4) + TP (1/4)
Bibliographie :
Introduction à la physique de l'état solide, C. Kittel, Dunod 1979,
Processus d'interaction entre photons et atomes, C. Cohen-Tannoudji, G. Grynberg, J. Dupont-Roc1996

Code :
Titre : Synthèse des matériaux et traitement de surfaces.
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Acquérir les connaissances générales théoriques et pratiques concernant les différents procédés d'élaboration et de traitements de matériaux en surface.

Prérequis : Connaissances de base en science des matériaux, thermodynamique mécanique quantique.
Contenu : Principes théoriques des principales techniques d'élaboration et leur variantes, description des techniques mise en œuvre (techniques du vide, contrôle/diagnostics).
Evaluation : examen écrit, notes de rapport de TP

Code :
Titre : Matériaux pour photovoltaïque
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Acquérir les bases physiques relatives à la production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.
Contenu :

- Introduction : historique, aspects économiques et environnementaux.
- Le rayonnement solaire.
- Le convertisseur photovoltaïque idéal.
- Eléments de physique des matériaux semi-conducteurs.
- Physique des photopiles.
- Matériaux pour la conversion photovoltaïque.

Evaluation : examen écrit.
Bibliographie :
A. LUQUE, S. HEGEDUS, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Ed. J. Wiley.
S. M. SZE, Semiconductor devices : Physics and technology, Ed. J. Wiley.
H. MATHIEU, Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques, Ed. Dunod.

Code :
Titre : Simulations numériques avec des logiciels professionnels
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Utilisation de codes de calculs commerciaux pour résoudre des problèmes pratiques.

Prérequis : Ce cours nécessite une bonne connaissance des cours plus en amont concernant essentiellement la mise en équations des transferts et les méthodes numériques classiques pour la résolution des problèmes associés.

Contenu : le cours doit se faire sous forme de projets pour la simulation de problèmes concrets prélevés dans l'expérience de chaque intervenant.
La simulation utilise les logiciels disponibles sur le serveur du centre de calcul de l'Université (actuellement Fluent, Femlab,…). Les problèmes traités peuvent concerner des situations de transferts (quantité de mouvement, chaleur, masse), à différentes échelles d'espace et de temps.
Une part importante du travail est consacrée à l'analyse critique des résultats obtenus.
Plan :

- exposé du problème à traiter, résultats attendus
- recherche d'études antérieures bibliographiques sur le problème
- inventaire des logiciels disponibles localement, choix du ou des logiciels choisis
- présentation du ou des logiciels choisis

- traitement du problème
- rédaction d'un rapport d'étude présentant les résultats, les limites et la critique du traitement du problème

Evaluation : Rapport de projet
Bibliographie : Documents relatifs à chaque logiciel

Code :
Titre : Thermodynamique des procédés
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : acquérir les connaissances suffisantes pour l'analyse, le dimensionnement et l'optimisation énergétique des procédés.

Prérequis : cours de thermodynamique de 2ème année
Contenu : A partir des principes de la thermodynamique, plusieurs procédés de production d'énergie sont présentés et analysés en terme d'efficacité énergétique et de rendement exergétique.

Plan : -Rappel : 1er et second principe de la thermodynamique, extension aux système ouverts : les bilans transitoires de masse, d'énergie et d'entropie ; - Applications : Production d'électricité ; Production de froid ou de chaleur ; -Traitement d'air humide.
TP : Analyse et optimisation de procédé à l'aide de logiciels libres ou commerciaux
Support de cours :
Evaluation : examen (2/3) + TP (1/3)
Bibliographie :
- Aide-mémoire de thermodynamique de l'ingénieur, F. Meunier, Dunod, 2005.
- Thermodynamique appliquée, Richard E. Sonntag , Gordon J. Van Wylen , Pierre Desrochers, ERPI, 2004

Code :
Titre : Energie solaire 2 : Conversion.
CM : 10h, TD : 24h, TP : 24h
Enseignant(s) :

Objectifs : Acquérir les connaissances générales concernant le dimensionnement des différents modes de conversion des énergies renouvelables en énergie utile : énergie mécanique, électricité, chaleur, froid.
Prérequis : Connaissances de base en transferts thermiques, thermodynamique des systèmes, mécanique des fluides.
Contenu :
Conversion en énergie mécanique ou électrique : Différents types de convertisseurs d'énergie renouvelable sont décrits dans le but de dimensionner des installations .
Conversion en énergie thermique : Il s'agit de remonter le potentiel thermique d'une source, c-à-d plus spécifiquement de produire du froid en utilisant la chaleur issue de capteurs solaires comme énergie primaire.
TP (3x8h) : Installation PV ; capteurs solaires par exemples à absorption $LiBr/H_2O$ et à réaction $BaCl_2/NH_3$. ; ….
Plan :
- Les panneaux photovoltaïques : dimensionnement d'une installation PV selon les besoins et la ressource, stockage par batteries.

- Les éoliennes : ressources, description et performances des différents types, modèle de Betz, dimensionnement, couplage avec une installation solaire.
- Les turbines hydro-électriques : descriptions et performances des différents types de turbines, modèle hydraulique, dimensionnement et choix des turbines…
- Les moteurs : illustration sur quelques cas (moteur Diesel, Stirling…).
- État de l'art des procédés frigorifiques pour la congélation, réfrigération, climatisation.
- Procédés par compression mécanique de vapeur (1 ou 2 étages).
- Procédés à sorption : ad- absorption ou réaction chimique.
- Problématique du déphasage entre ressource solaire et besoin frigorifique : les différentes solutions de stockage.

Support de cours :
Evaluation : examen écrit, rapport de TP.

Code :
Titre : Sélection des matériaux et procédés intégrés
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Acquérir les connaissances suffisantes pour l'analyse, le dimensionnement et l'optimisation énergétique des procédés.

Prérequis : Cours en licence.
Contenu : La première partie du cours porte sur une description détaillée des classes des matériaux et des propriétés associées. La deuxième porte plus particulièrement sur la description d'une méthode systématique qui permet de choisir le meilleur matériau pour une application donnée. Un accent particulier sera mis sur les applications liées à l'habitat. La sélection d'un matériau ne peut se faire de manière simplement déductive. Elle nécessite une comparaison objective entre les différents matériaux. Ceci est possible grâce à l'utilisation d'indices de performance et aux cartes de sélection développés par le professeur Ashby de l'université de Cambridge (UK). Cette méthode permet de construire une combinaison de propriétés qui traduisent la performance du matériau pour la fonction recherchée, dans la sollicitation imposée et avec le souci d'optimisation.

Plan :
TP :
Support de cours :
Evaluation : examen
Bibliographie :
Choix des matériaux en conception mécanique, Ashby, Dunod, 2000.
Made to measure : new materials for the 21st century, P. Ball, Princeton University Press, 1997

MASTER II
MATERIAUX – ENERGIE / RECHERCHE

Code :
Titre : Filières photovoltaïques
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) : UO , PVT(Entreprise Autriche), Soltec (Entreprise Burkina)

Objectifs : Connaître les différents matériaux et les différentes filières technologiques mis en oeuvre pour réaliser la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.
Prérequis : Cours Matériaux pour Photovoltaïque .
Contenu :

- Filière silicium : cristallin, multicristallin, silicium amorphe
- Composés III-V, multi-jonctions
- Cellules photovoltaïques en couches minces
- Cellules photovoltaïques organiques
- Conversion photovoltaïque sous concentration
- Nouveaux concepts pour les cellules photovoltaïques du futur.

Evaluation :
Bibliographie :
Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Ed. J. Wiley : A. LUQUE, S. HEGEDUS
Next Generation Photovoltaics, Ed. Taylor & Francis Group. : A. MARTI
Physique des matériaux ,Ellipses : Yves Quéré

Périodiques : Solar Energy Materials & Solar Cells, Applied Physics

Code :
Titre : Stockage de l'énergie solaire
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignants :
Objectifs : Les procédés solaires sont tous soumis aux intermittences de la source, l'objectif de ce module est d'acquérir les connaissances relatives aux matériaux et procédés de stockage permettant de gérer au mieux ces limitations.
Prérequis : Notions générales sur la source solaire et les procédés solaires vus aux semestres précédents.
Contenu et plan : Les différents modes de stockage énergétiques utilisés dans les procédés solaires sont décrits et illustrés par leurs applications. Les aspects matériau et procédé sont systématiquement abordés en synergie.
TP : manipulations de stockage thermique en chaleur sensible (chauffe-eau solaire) ou latente (liquide/solide) sur module de stockage déporté ou sous flux solaire direct.
Evaluation : examen écrit, notes de rapport de TP.

Code :
Titre : Outils logiciels en sciences des matériaux
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :
Objectifs : Se familiariser avec un nombre de logiciels utilisés en science des matériaux et des procédés associés à la fois dans la recherche et dans les entreprises.

Prérequis : Connaissances en science des matériaux : Relations structures/propriétés ; matériaux et procédés intégrés ; procédés d'élaboration des matériaux et traitements de surfaces.
Contenu : Le cours portera sur une description du contexte scientifique dans lequel ces outils sont utilisés, ainsi que sur une illustration exhaustive de leur mode d'emploi. Les étudiants seront ensuite invités à se familiariser avec ces logiciels au cours de TD qui prendront la forme de projets.
Support de cours :
Evaluation : exposé oral + rapport de projet
Bibliographie :
Choix des matériaux en conception méchanique, Ashby, Dunod (2000).
W. Kurz, J.P.Mercier, Traité des matériaux, Vol 1, Presses Pol. Romandes (1987).
M. Konuma, film deposition by plasma techniques, Springer Verlag (1992).
SRIM 2003 online, M. Ziegler …

Code :
Titre : Projet de technologie solaire innovante
Enseignants :

Objectifs : Développer une démarche d'innovation technologique dans le domaine des énergies et procédés solaires intégrant les aspects scientifiques, technologiques, environnementaux, sociaux et économiques.
Prérequis : L'innovation et sa valorisation
Contenu : Au cours de ce module, les étudiants auront à développer un projet technologique sur un sujet innovant dans le domaine des procédés solaires.
Le travail réalisé sera finalisé par un rapport ainsi qu'une présentation orale devant l'ensemble de la promotion.

Evaluation : rapport (1/2), exposé oral (1/2).

Code :
Titre : Caractérisation des matériaux et propriétés
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Se familiariser avec les principales méthodes de caractérisation des matériaux utilisées dans l'industrie et les laboratoires de recherche.
Prérequis : Cours niveau 3ème année en science des matériaux
Contenu : Dans une première partie introductive des rappels sont donnés sur l'interaction rayonnement/matière. Il est ensuite montré comment l'examen de ces effets permet de caractériser la morphologie d'un matériau, d'identifier les éléments chimiques constitutifs ainsi que dans certains cas les phases. Une description concrète des principaux appareillages de caractérisation utilisés à la fois dans l'industrie et dans les laboratoires de recherche est ensuite donnée. Par exemple : La diffraction des rayons X ; La spectroscopie ; ICP-MS …
TP : Caractérisation des matériaux
Support de cours :
Evaluation : examen (3/4) + TP (1/4)
Bibliographie :
La microscopie électronique, Christian Colliex - PUF (1998)
Principles of Electron Optics, P.W.Hawkes et E.Kasper, Academic Press (3 volumes) (1989)

Code :
Titre : Métrologie et captation
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Acquérir les notions générales concernant la métrologie et les différents types de capteurs susceptibles d'être employés par des scientifiques maîtrisant l'énergie solaire.
Prérequis : Math de 2ème année ; électricité de 2ème année
Contenu : Après une brève introduction à la métrologie, différents types de capteurs sont présentés. Conformément aux demandes exprimées par les étudiants, différents types de capteurs sont alors étudiés (historique, principe, limites d'utilisation, avantages, défauts) : La métrologie ; Calcul d'incertitudes ; Choix de capteurs ; Mesure de température ; Fluxmètre et analyseur de faisceau ; Mesure de position et d'accélération ; Mesure de force et de pression ; Mesure de niveau et de débit ; Détection de fumée
Support de cours :
Evaluation : examen écrit

Code :
Titre : Électronique de puissance
CM : 10h, TD : 12h, TP : 8h
Enseignant(s) :

Objectifs : Étude de systèmes énergie renouvelable de conversion d'énergie électrique (Photovoltaïque, éolien).
Prérequis : Base de l'électricité (régime transitoires, puissances et pertes), des interrupteurs semi-conducteurs.
Contenu :

- Généralité sur les convertisseurs statiques.
- Les différents convertisseurs (redresseurs, hacheurs, onduleur, gyrateur).
- Règles d'association des convertisseurs statiques.
- Les différent types de pertes dans les convertisseurs (pertes par conduction et par commutation).
- Étude d'une chaîne photovoltaïque avec injection sur le réseau électrique et système de secours.
- Étude du fonctionnement d'une chaîne éolienne.

Support de cours :
Evaluation : Examen écrit 75%, Travaux pratiques 25%
Bibliographie :
- *" Principe d'électrotechnique "*, Max Marty, Daniel Dixneuf, Delphine Garcia Gilabert, Ed Dunod, ISBN 9782100485505
- *" Alimentations à découpage, Convertisseurs à résonance "*, Jean-Paul Ferrieux, François Forest, Ed Dunod, ISBN : 9782100041374
- *" Electronique de puissance - structures, fonctions de base, principales applications "*, Guy Séguier, Robert Bausière, Francis Labrique, Ed Dunod, ISBN 9782100485000
- *" Problèmes d'électronique de puissance "*, Jean-Marc Roussel, Ed Dunod, ISBN 9782100070367